

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВРАЩЕНИЮ БУРА ПРИ УДАРНО- ВРАЩАТЕЛЬНОМ БУРЕНИИ

Я. А. СЕРОВ

(Представлено профессором Алабужевым П. М.)

Общие положения и условия исследования

В настоящее время мало исследовано ударно-вращательное бурение шпуров с независимым поворотом бура, которое дает возможность значительно увеличить скорость бурения. В работах Н. Н. Есина и О. Д. Алимова [1, 2] положено начало исследованию сопротивления вращению бура при ударно-вращательном бурении.

Данная работа является одним из разделов общего исследования пневматических бурильных машин ударно-вращательного действия и имеет цель выяснить зависимость крутящего момента на буре от усилия подачи. Указанная цель работы определила выбор методики и аппаратуры для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории машин ударного действия Томского политехнического института. Расположение шпуров во всех опытах принято горизонтальным. В качестве бурового инструмента применялись буры с однодолотчатыми съемными коронками $d=48$ мм, армированными твердым сплавом марки ВК-15. Буровая мелочь из шпура удалялась продувкой воздухом. Усилия подачи были приняты от 13 до 71 кг, а числа оборотов бура 100, 140, 180 и 220 об/мин. Бурение производилось по породе—скарну крепостью $f=12-14$ по Протодьяконову.

Экспериментальная установка и методика проведения исследований

В соответствии с поставленными задачами экспериментального исследования в лаборатории машин ударного действия были спроектированы и изготовлены на Томском электромеханическом заводе и в лабораториях Томского политехнического института специальный стенд для бурения, моментомер и необходимые измерительные приборы. Устройство стенда и применяемые массивные глыбы горных пород позволяли вести бурение шпуров в условиях, близких к производственным.

Установка для проведения исследований состояла из компрессора ЗИФ-ШВКС-5 и стенда для установки бурильного молотка с моментомером и укрепления горной породы во время бурения. Схема стенда показана на рис. 1. Испытуемый молоток 1 (рис. 1) зажимными планками укрепляется в каретке 2, которая на колесах 3 перемещается в пазах

направляющей рамы 4. Направляющая рама 4 укреплена с помощью обоймы на траверсе 5, закрепленной хомутами на стойках сварной рамы станда 6. Конструкция обоймы позволяет перемещать направляющую раму 4 вдоль траверсы 5, а также поворачивать направляющую раму относительно вертикальной оси обоймы. Обойма может поворачиваться вокруг оси траверсы, что позволяет установить молоток под углом к основанию рамы. Закрепление направляющей рамы в определенном по-

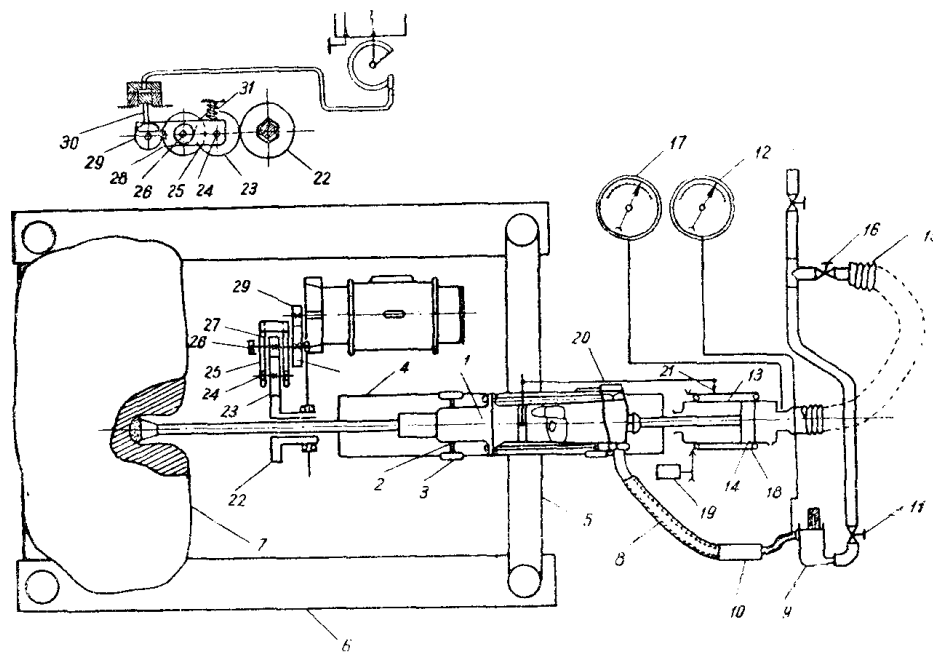


Рис. 1. Схема станда для исследования ударно-вращательного бурения.

ложении осуществляется стяжными болтами. Траверсу можно перемещать вверх и вниз по стойкам рамы и при помощи хомутов закреплять в требуемом положении.

Бурильный молоток устанавливается на стенде без буродержателя. Образец горной породы 7, предназначенный для бурения, устанавливается в раме станда и укрепляется при помощи домкратов. Питание молотка сжатым воздухом осуществляется от воздухохранилища через резиновый шланг 8 с последовательно включенными воздухомером 9 и автомасленкой 10. Изменение давления воздуха, подводимого к молотку, осуществляется вентилем 11 и контролируется по манометру 12.

Для создания осевого усилия подачи на молоток сделано пневматическое нажимное устройство, состоящее из цилиндра 13 и поршня со штоком 14. Цилиндр 13 соединяется резиновым шлангом 15 с трубопроводом, идущим от компрессора. В цилиндре 13 имеется отверстие, сообщающее цилиндр с атмосферой. При помощи дросселирования воздуха из цилиндра податчика через это отверстие достигается постоянное давление, а следовательно, и постоянное усилие подачи в процессе бурения. Для исключения возможности изменения давления воздуха в подающем цилиндре за счет сжатия его при колебаниях корпуса молотка поршневой податчик присоединен к сети через шланг 15 увеличенного диаметра; $d=52$ мм, длиной $l=4$ м. Колебания корпуса молотка при каждом ударе не могут значительно изменить давление в податчике, так как при амплитуде отдачи 2—3 мм степень дополнительного сжатия воздушного буфера с учетом воздухоподводящего шланга большего диаметра будет составлять менее 0,001 от первоначального объема [3]. Из-

менение усилия подачи осуществляется за счет изменения давления воздуха в цилиндре 13 при помощи крана 16 и контролируется по манометру 17.

Для записи диаграммы колебаний корпуса молотка в процессе бурения на цилиндре 13 смонтирован вращающийся барабан 18, который приводится во вращение электродвигателем 19 через зубчатый редуктор и ременную передачу. К корпусу испытуемого молотка присоединяется стержень 20 с карандашом 21, который и производит запись колебаний корпуса молотка по времени на листе бумаги, закрепленном на барабане.

Для замера крутящего момента на буре, после анализа существующих конструкций моментометров, была выбрана, как наиболее простая и вместе с тем дающая необходимую точность измерений схема моментомера, разработанная профессором А. М. Розенбергом и успешно применяемая в лаборатории резания металлов Томского политехнического института [4].

На рис. 1 дана схема моментомера. Устройство и принцип действия моментомера следующий. Бур испытуемого бурильного молотка приводится во вращение с помощью отдельного электродвигателя через двухступенчатый зубчатый редуктор. Электродвигатель вращения бура взят постоянного тока для того, чтобы иметь возможность изменять число оборотов бура в нужных пределах. Поворотное устройство бурильного молотка выключалось из работы за счет того, что из геликоидального стержня вынимались собачки.

Шестерня 22 редуктора моментомера с помощью разъемной шестигранной буксы вращает бур испытуемого молотка, при этом бур имеет возможность свободного продольного перемещения в шестигранной буксе. Шестерня 22 сцеплена с паразитной шестерней 23, закрепленной на валу 24, вращающемся в шарикоподшипниках, укрепленных в двух серьгах 25. Серьги посажены на шарикоподшипниках на вал 26, несущий шестерню 27, и прочно связаны между собой. При передаче вращения от электродвигателя буру через редуктор, а следовательно, и через шестерни 29, 28, 27, 23 и 22 на паразитной шестерне 23 возникают окружные силы, которые стремятся повернуть ее вместе с серьгами 25 против часовой стрелки (когда бур вращается также против часовой стрелки, если смотреть на бур в сторону буримой породы) вокруг оси шестерен 27 и 28. Серьги передают через цилиндрический стержень 30 на гидравлическую месдозу окружные силы, пропорциональные развиваемому крутящему моменту на буре. Месдоза жестко укреплена на кронштейне корпуса редуктора.

Так как жидкость в месдозе практически несжимаема, то серьги 25 почти не перемещаются, но создают тем большее давление на поршень месдозы, чем больше крутящий момент на буре молотка. Этот крутящий момент может быть таким образом зарегистрирован на движущейся ленте бумаги (кальке) самопишущим манометром, соединенным с месдозой трубкой диаметром в свету 2,5 мм. Для устранения колебаний жидкости в системе месдоза—трубка—манометр в трубку была вставлена стальная проволока, уменьшившая ее сечение. Для уничтожения люфтов в измерительной системе создается предварительный натяг, для чего серьги через специальную пружину 31 подпираются винтом к месдозе. Величина предварительного натяга была равна примерно 20% от предельной нагрузки моментомера.

Тарировка моментомера производилась с помощью рычага и накладных грузов. Рычаг монтировался на переднем конце бура при заклиненных шестернях редуктора. Схема тарирования моментомера и тарировочная кривая показаны на рис. 2. Тарирование производилось

до 10 раз как в сторону нагрузки, так и разгрузки, при этом разброс точек составил примерно 1,5%, что надо считать вполне хорошим результатом. В процессе проведения исследований моментомер систематически подвергался контрольному тарированию и результаты совпадали с первоначальными. Такой метод тарирования является простым и вполне точным [4].

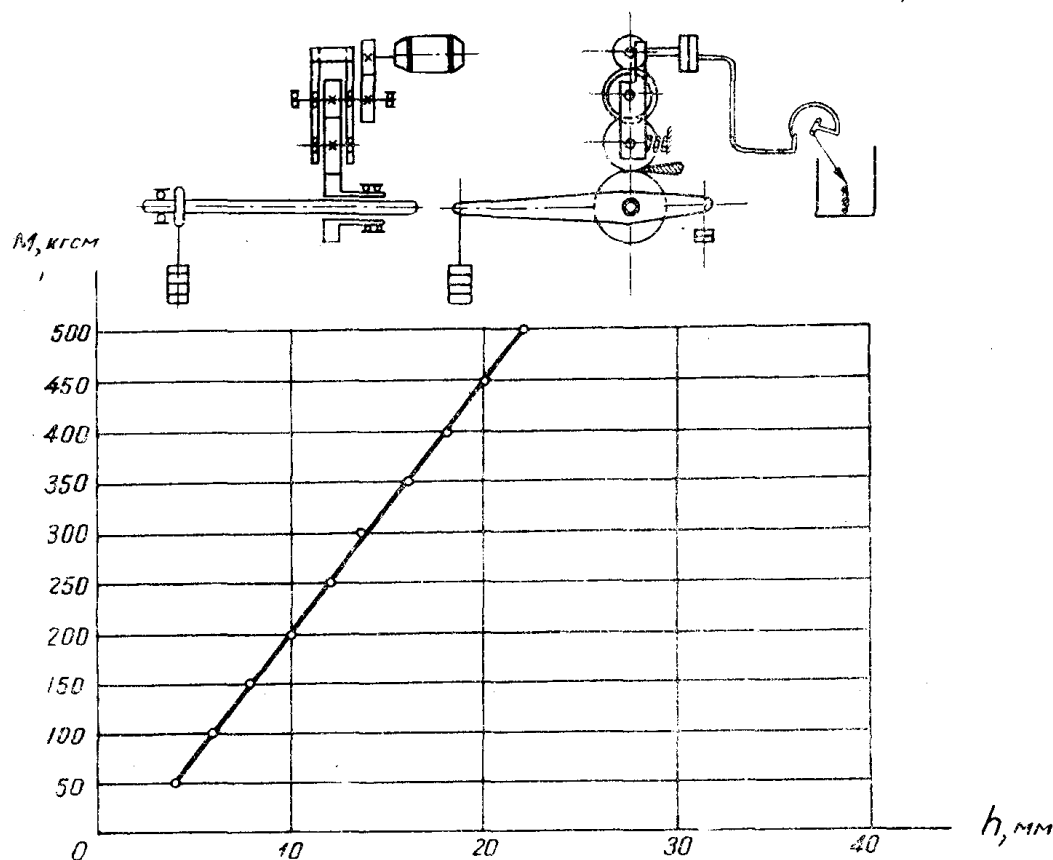


Рис. 2. Схема тарирования и тарировочная кривая моментомера.

Конструкция стенда позволяет производить бурение шпуров под различным углом к горизонту; записать во время опыта длину шпура, пробуренного за опыт; определить число ударов и число оборотов бура за опыт; определить скорость бурения различных горных пород при различном давлении сжатого воздуха и различном усилии подачи. С помощью установленного на стенде моментомера можно записать во время опытов диаграмму крутящего момента на буре.

Как было указано выше, диаграмма крутящего момента записывалась самопишущим манометром. Устройство его видно из схемы на рис. 3. С барабана 1 бумажная лента (калька) сматывается, огибает барабан 2 и валик 3. После огибания валика 3 бумажная лента идет на столик для записи 4. Далее лента движется между валиками, покрытыми резиной 5 и 6, один из которых приводной, а другой—прижимной. Приводной валик 5 получает вращение от электродвигателя 7 через зубчатый редуктор 8 и ременную передачу 9. Прижимной валик 6 с помощью стальных пружин 10 прижимает бумажную ленту к при-

водному валу 5, благодаря чему исключается проскальзывание ленты на приводном валу. Привод прибора состоит из электродвигателя 7 мощностью 200 ватт, с 1500 об/мин, редуктора 8 и ременной передачи 9.

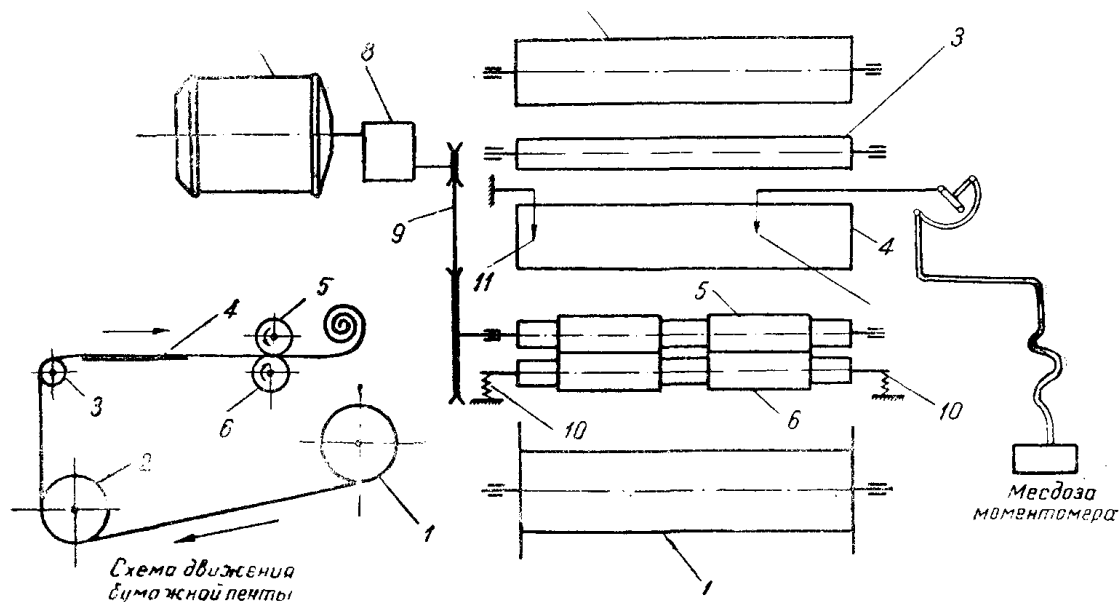


Рис. 3. Схема самопишущего манометра.

Спереди, в верхней части механизма для протягивания ленты крепится манометр для записи крутящего момента, а сбоку, на стенке механизма, перо для записи нулевой линии. На рис. 3 показано перо для записи



Рис. 4. Образец ленты самопишущего манометра.

нулевой линии 11 и перо 12 для записи диаграммы крутящего момента. В качестве перьев применялись перья-лодочки. Образец ленты с за-



Рис. 5. Образец ленты самопишущего манометра.

писью диаграммы крутящего момента при малом усилии подачи (20 кг) приведен на рис. 4, а при большом усилии подачи (60 кг) — на рис. 5.

Исследование сопротивления вращению бура при бурении проводилось следующим образом. В молотке и податчике устанавливалось нужное давление сжатого воздуха. Запускались одновременно бурильный молоток и электродвигатель вращения бура. Электродвигатель механизма протягивания ленты самопишущего манометра запускается несколько раньше молотка для того, чтобы при записи диаграммы крутящего момента скорость движения ленты была постоянной. Для определения скорости вращения бура применить обычные тахометры затруднительно, так как помимо вращения бур совершает возвратно-поступательное движение с большой скоростью. Ввиду отсутствия специальных приборов скорость вращения бура при проведении опытов измерялась при помощи бечевки. Сущность этого способа заключается в том, что на бур перед началом бурения закрепляется конец тонкой бечевки. При работе молотка бечевка наматывается на бур; число витков, намотанных на бур, соответствует числу оборотов бура за опыт. Засекая время работы молотка по секундомеру и измеряя число витков бечевки на буре после бурения, получаем необходимые данные для вычисления числа оборотов бура в минуту. Численные значения крутящего момента определялись по записанной диаграмме и тарировочной кривой, а усилие подачи—как произведение давления сжатого воздуха в податчике на площадь его поршня. Каждый опыт повторялся 4—5 раз, вычислялись средние значения, на основании которых построены графики, приведенные на рис. 6, 7, 8, 9.

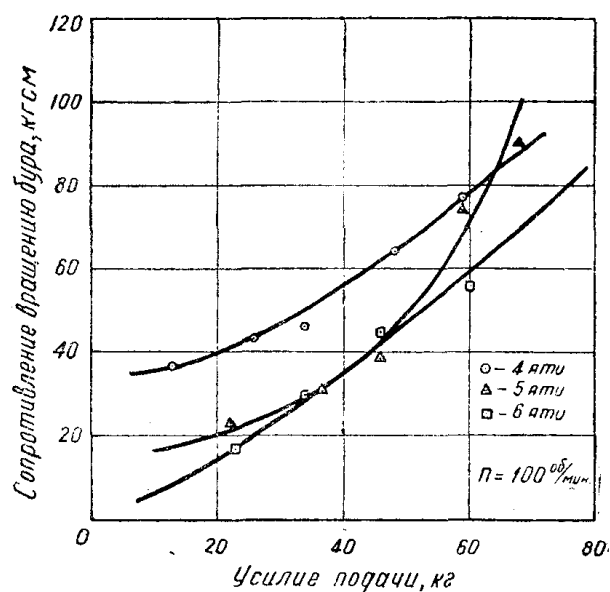


Рис. 6.

Результаты экспериментальных исследований

Данные исследований представлены в виде графиков на рис. 6, 7, 8, и 9. Из рассмотрения графиков видно, что сопротивление вращению бура растет с увеличением усилия подачи. При работе бурильного молотка на давлении сжатого воздуха 4—5 и 6 ати сопротивления вращению бура с увеличением усилия подачи остаются примерно постоянными, но все же с увеличением давления воздуха в молотке и крутящего момента на буре несколько уменьшаются. Последнее можно объяснить тем, что с увеличением энергии удара (при повышении давления сжатого воздуха в молотке) увеличивается отскок бура от забоя, а следовательно, бур бо-

лее свободно вращается между ударами. На рис. 7 и 8 данный вывод не подтверждается. Это можно объяснить тем, что сопротивление вращению бура с увеличением энергии удара уменьшается, видимо, незначительно, а так как породы бурились неоднородные, то разброс точек превышал численное значение этого увеличения.

Крутящий момент на буре растет с увеличением числа оборотов бура (с увеличением угла поворота бура между ударами). Если при числе оборотов бура $n=100$ об/мин, при усилии подачи 20 кг (рис. 6) сопротивление вращению бура при бурении молотком на 4 ати равно

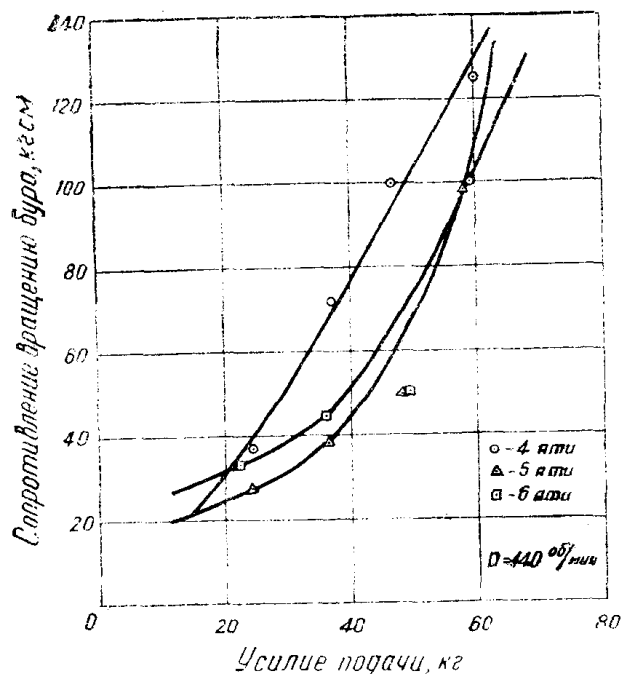


Рис. 7.

39 кгсм, то при тех же условиях, но при $n=220$ об/мин (рис. 9) сопротивление вращению бура уже составляет 64 кгсм, при усилии подачи 60 кг—соответственно 78 и 143 кгсм. Это объясняется тем, что после удара бура о дно шпура последний отскакивает, а затем прижимается усилием подачи к дну шпура. В это время момент сопротивления вращению бура растет, следует новый удар, наступает отскок и сопротивление вращению бура падает. Следовательно, чем больше будет угол поворота бура между ударами, тем больше будет средний момент сопротивления и наоборот. Поэтому при конструировании бурильных молотков надо стремиться к тому, чтобы поворотное устройство обеспечивало минимально возможное число оборотов бура, исходя из условия создания оптимального угла поворота бура между ударами, в противном случае поворотное устройство будет преодолевать лишнее сопротивление вращению бура.

Как уже указывалось выше, при проведении исследований записывались диаграммы крутящих моментов на буре непосредственно во время бурения. На рис. 4 дана диаграмма крутящего момента на буре при малом усилии подачи (20 кг), а на рис. 5—при большом усилии подачи 60 кг. По диаграммам видно, что сопротивление вращению бура при малом усилии подачи равномерное, а при большом усилии подачи имеет скачкообразный характер. Поэтому приведенные величины крутящих моментов для больших усилий подачи являются средними.

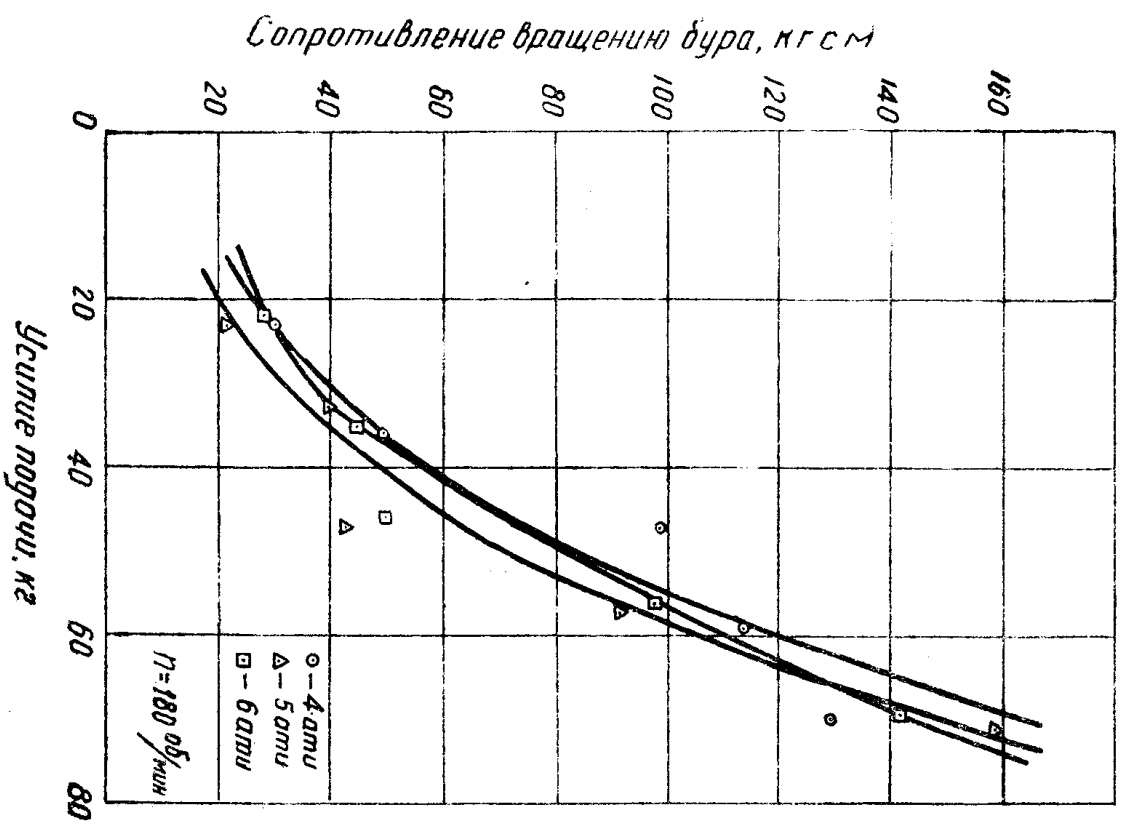


Рис. 8.

Оптимальные усилия подачи для серийно выпускаемых пневматических ручных бурильных молотков лежат в пределах от 30 до 70 кгс, сопротивление вращению бура при этих пределах соответственно состав-

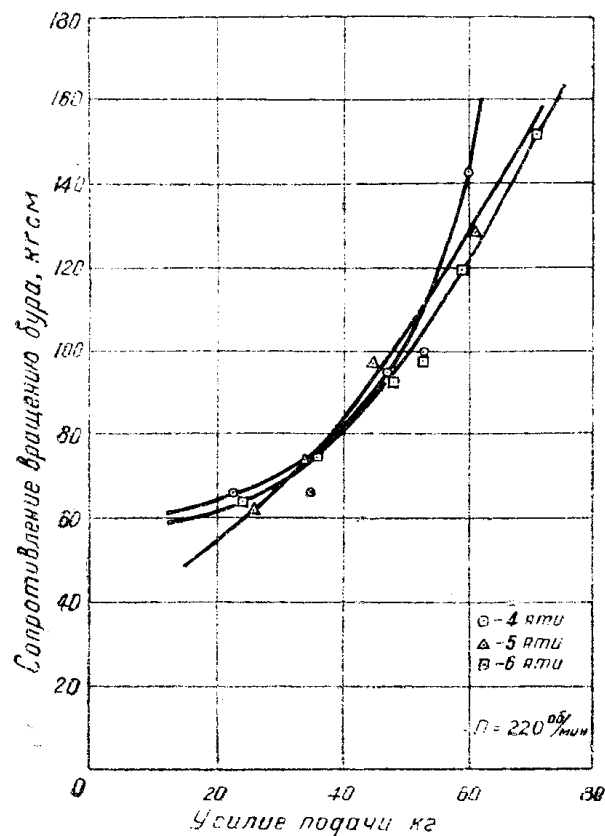


Рис. 9.

ляет от 25 до 150 кгс·см. Отсюда можно сделать вывод, что для бурильных молотков, имеющих повышенное значение оптимального усилия подачи, необходимо поворотное устройство, способное развивать значительно больший крутящий момент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Есин Н. Н. Исследование легких бурильных молотков, Новосибирск (кандидатская диссертация), 1952.
2. Алимов О. Д. Исследование механизма разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении и исходных параметров бурильных молотков, Томск (кандидатская диссертация), 1953.
3. Расчеты, конструирование и испытания горных машин (сборник второй). Под редакцией инженера А. В. Топчиева. Москва, Углетехиздат, 1955.
4. Розенберг А. М. Динамика фрезерования. Москва, Советская наука, 1945.